ChinaXiv合作期刊

第 37 卷第 4 期　　生　态　学　报　　Vol.37,No.4
2017 年 2 月　　ACTA ECOLOGICA SINICA　　Feb.,2017

DOI: 10.5846/stxb201606151154
王琴,蒙仲举,汪季,党晓宏,张晓娜,王则宇,赵青,张吉祥.希拉穆仁草原近自然恢复状态下植被-土壤响应特征.生态学报,2017,37(4):1159-1167.
Wang Q, Meng Z J,Wang J, Dang X H, Zhang X N,Wang Z Y, Zhao Q, Zhang J X.Response of the vegetation soil under almost-natural restoration in the Xilamuren grassland.Acta Ecologica Sinica,2017,37(4):1159-1167.

希拉穆仁草原近自然恢复状态下植被-土壤响应特征

王　琴[1],蒙仲举[1],汪　季[1,*],党晓宏[1],张晓娜[1],王则宇[1],赵　青[2],张吉祥[3]
1 内蒙古农业大学沙漠治理学院,呼和浩特　010018
2 内蒙古农业大学草原与资源环境学院,呼和浩特　010018
3 临策铁路有限责任公司,呼和浩特　010018

chinaXiv:201703.00049v1

摘要:通过对内蒙古阴山北麓围封区域草原近自然状态下植被群落特征及其土壤颗粒物理特性的研究,探讨草地群落与土壤颗粒物理特性在自然风蚀条件下的特征。结果表明:(1)草地全覆盖时以羊草、赖草为优势种,当草地盖度下降为 40%以下时以指示草地退化的冷蒿为优势种;且随着植被盖度的降低,草地植物群落生物量呈降低趋势,Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数均呈现出先升高后降低的趋势;(2)草地植被覆盖度对地表土壤颗粒分形维数有显著影响($P<0.05$),随着盖度的降低,其地表土壤颗粒分形维数呈显著降低趋势,地表土壤颗粒粗化明显;(3)在近自然状态下,草地植被覆盖较低时,地表 0—1 cm 土壤颗粒粗粒化现象尤为显著,粒度累计差异达到 1 mm,垂直结构上表现为由 3—5 cm、1—3 cm 土层至 0—1 cm 土层,土壤颗粒粗粒化程度加重,粗颗粒粒度累积差异分别出现在 0.1、0.25、1 mm;(4)在近自然状态下,随着草地植被盖度增加,表层土壤受植物遮蔽,得到有效保护,土壤颗粒逐渐细化,容重也缓慢下降。在近自然状态下,草地及土壤环境发生有层次且多样性的变化,草地植被的斑块状变化使得希拉穆仁围封区草原在近原始状态下出现自然风蚀现象成为可能。

关键词:围封草原; 近自然状态;分形维数;粒度特征

Response of the vegetation soil under almost-natural restoration in the Xilamuren grassland

WANG Qin[1], MENG Zhongju[1], WANG Ji[1,*], DANG Xiaohong[1], ZHANG Xiaona[1], WANG Zeyu[1], ZHAO Qing[2], ZHANG Jixiang[3]
1 *College of Desert science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot* 010018, *China*
2 *College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot* 010018, *China*
3 *Linhe-ceke Railway Co., Ltd, Hohhot* 010018, *China*

Abstract: We studied the soil physical properties and characteristics of plant communities under almost-natural states in enclosed grasslands at the northern foot of the Yinshan Mountain in Inner Mongolia. The objective was to explore the characteristics of grassland communities and soil particles under natural erosion conditions. The results showed that (1) the dominant species in full coverage grassland were *Leymus chinensis* and *Leymus secalinus* . The indicator species of grassland degradation, *Artemisia frigid*, was the dominant species when the vegetation coverage was $<40\%$. The biomass of the grassland community decreased with the vegetation coverage, and the Shannon-Wiener and Simpson indexes firstly increased and then decreased; (2) the fractal dimension was significantly influenced by the grassland coverage at the surface soil; it decreased significantly with decreasing coverage($P<0.05$), and the sand content obviously increased in the surface soil;

基金项目:内蒙古农业大学优秀青年科学基金资助项目(2014XYQ-8);中国科学院西部之光"内蒙古中西部荒漠草原地表粗粒化过程研究"
收稿日期:2016-06-15;　　**修订日期**:2016-09-12

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wangji1957@163.com

ChinaXiv合作期刊

(3) when the coverage was lower, coarse-grained soil particles were dominant in the 0—1 cm layer, and the accumulative particle difference was up to 1 mm. This showed that the degree of coarse-grained particles increased from the 3—5 cm layer and 1—3 cm layer to the 0—1 cm layer in the vertical soil structure. The cumulative differences of coarse particles were 0.1, 0.25, and 1 mm in the 3—5, 1—3 cm, and 0—1 cm layers, respectively; and (4) with increased coverage, surface soil was covered and effectively protected, and soil particles gradually become finer and the bulk density slowly reduced. Under the almost-natural state, the grassland and soil environment changed hierarchically and diversely, and the patchy changes of grassland vegetation resulted in natural erosion in the enclosed meadow in the Xilamuren grassland.

Key Words: enclosed grassland; almost-natural state; fractal dimension; soil-particle size

chinaXiv:201703.00049v1

内蒙古阴山北麓低山丘陵草原区域不仅是内蒙古重要的生态屏障,更是当地农牧民生产和生活资料的来源,支撑了当地经济的可持续发展,其生态功能的正常发挥对区域乃至整个北方地区的发展有着不可替代的作用。一定时间的围封能够帮助退化草原恢复至一个近自然的状态[1],从而有效降低土壤风蚀率及风蚀量[2]。黄蓉[3]等对围封草地群落结构及多样性的研究发现,在围封的过程中,植被盖度的变化尤为显著且会对区域生态系统产生重要的影响。在常年围封后,干旱及半干旱区草地的群落特征也会出现一定的波动,草地植被为了适应环境不断进行自我调节[4]、生物量、盖度、高度发生显著变化[5]。由于草地生态系统本身的复杂性和放牧历史、环境因子等的迭加作用,退化草地群落围封后出现 3 种可能的演替模式,即单稳态模式、多稳态模式和滞后模式,使得围封对草地出现两面性,正面及负面[6]。这种负面作用,可能使草地由植被繁茂、分布均一的草地,逐渐转变为带有少量植被稀疏、低矮的斑块草地[7],在长期风力侵蚀的作用下,地表呈现粗粒化。

地上植被与地下土壤之间关系密切[8],土壤含水量、粘粉粒等与物种丰富度指数、植被盖度等呈显著正相关关系[9],且与地表的粗糙度紧密相连,是生态学上的重点研究领域[10]。当地表细颗粒物质在缺乏植被的有效保护下,逐步分移出去,致使地表出现粗粒化现象,土壤颗粒粒度分布发生变化[11]。目前,采用土壤颗粒分形特征对土壤粒度特征进行拓展研究应用较广,土壤颗粒分形维数不但能够表征土壤粒径的大小组成,对于土壤质地、土壤肥力以及土壤通透性等也能够很好的反映[12-13]。并且利用土壤粒径的体积分布描述土壤颗粒的分形维数的研究已经比较完善了,结果精准简单,表征性强。因此利用分形维数,结合土壤颗粒机械组成能够有效说明土壤粗粒化现象[14]。因此,在草地围封多年后,且达到近自然状态时,通过对不同植被盖度下土壤粒度特征的研究,对于揭示近自然状态下草地表层风蚀特征有重要意义。

本研究以内蒙古希拉穆仁草原为研究对象,通过对围封 13a 的草原地表覆盖度、分形维数、土壤粒度参数的测定,分析了在草原恢复到近自然状态之下后不同植被盖度之下的土壤风蚀粗粒化情况及特征。为该区域草原进行合理的开发、放牧以及制定可行的围封禁牧策略提供一定的依据,确保当地草地生态、经济平衡的可持续利用。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于内蒙古自治区达茂旗希拉穆仁草原(111°00′—111°20′ E、41°12′—41°31′ N)。该区域属中温带半干旱大陆性季风气候,年平均降雨量约 281 mm,多集中于夏季,冬季寒冷干燥;年平均风速为 4.5 m/s,年大风日数为 65 d,风沙天气多发于春、冬两季。希拉穆仁草原以风蚀为主,伴有水蚀,为风水复合侵蚀区。风蚀和水蚀的交替作用造成地表水土流失和地表颗粒粗化,是当地土壤退化的主要表现形式。土壤质地主要为砂质壤土,土壤养分含量较低,该区域的主要建群种植物为克氏针茅(*Stipa krylovii*),草地群落以羊草(*Leymus chinensis*)+克氏针茅为主,冷蒿(*Artemisia frigida*)、银灰旋花(*Convolvulus ammannii* Desr.)、赖草(*Leymus secalinus*)等分布的范围也较广,零星分布的有阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)等,植被类型呈现为典型

ChinaXiv合作期刊

草原特征。受旅游业的破坏性扩张以及挖矿等人为强力扰动,该区域草地严重退化。2002 年开始围封,完全排除放牧等人为干扰,至 2015 年已围封 13a,围封面积达到 133hm^2。

1.2　样地选择和样品采集

为了研究希拉穆仁草原围封区不同盖度草地在自然风蚀状态下的特征,2015 年 8 月 16 日—18 日,选择围封 13a 的草地,对植物和土壤进行取样。8 月份是植被生长累积的高点,生物量达到最大,也是草地生态功能发挥最大的时候[15]。半干旱区的希拉穆仁草原在围封过程中,经过多年演替,植被为了适应环境进行自我调节,在空间分布上呈现出斑块状分布格局[16],在干旱区及半干旱区是一种比较常见的且相对稳定的植被生存形式[17-18]。因此在围封区域内,按照植被盖度约为 0%,5%,20%,40%,60%,80%,100%,选取地势平坦、立地条件基本相似的 30 m×30 m 典型取样区,每种盖度的取样区布设 3 个重复,每个取样区内布设 5 个草本样方,样方面积为 1 m×1 m。采用计数法获取每种的株数,用直尺测量每种植物的高度。将样方内植物地上部分全部刈割,活体部分、立枯以及地上凋落物分装于信封中,现场称量鲜重,并带回实验室,在 80℃ 条件下烘干至恒重,分别称量其干重。

完成地上群落的调查后,在相应位置挖取土壤剖面,首先将 0—5 cm 分为 0—1;1—3;3—5 cm 3 层取样,用于分析土壤表层的粗粒化程度;其次,按照 0—5;5—10;10—20;20—30 cm 分层,20—30 cm 将用于证明样地在围封前无差异性。采用钢制环刀进行取样,带回实验室阴干备用。采用烘干法测量容重;采用 Mastersizer 3000 激光粒度分析仪分析其土壤粒度组成。

1.3　研究方法

1.3.1　重要值及植被群落多样性指数

$$重要值=(相对高度+相对盖度+相对频度+相对多度)/4$$

植被群落多样性指数采用 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数进行分析,其公式如下[19]:

(1) Shannon-Wiener 多样性指数:　$SW = \sum P_i \text{In} P_i (P_i = N_i/N)$

式中,N_i 为样方中第 i 种植物的重要值;N 为样方植物重要值总和。

(2) Simpson 优势度指数:　$SP = 1 - \sum P_i^2$

(3) Pielou 均匀度指数:　$J_{sw} = H/\text{In}S$

1.3.2　粒度参数

根据美国土壤质地分类系统,将土壤粒径分为以下 7 个级别:0—0.002 mm,0.002—0.05 mm,0.05—0.1 mm,0.1—0.25 mm,0.25—0.5 mm,0.5—1 mm,1—2 mm,2—2.85 mm。

(1) 土壤颗粒体积分形维数

大量的研究表明,土壤颗粒也同样具有分形特征,D_v 可以作为一个反映土壤的粒级组成和质地信息的函数[20],运用分形理论建立土壤颗粒的分形模型,其分形维数的表达式为[21]:

$$\lg(V(r < R_i)/V_t) = (3 - D_v)\log(R_i/R_{max})$$

式中,R_i 为两筛分粒级 R_i 与 R_{i+1} 间粒径的平均值,R_{max} 为最大粒级土粒的平均直径,$V(r<R_i)$ 为小于 R_i 的累积土粒体积。V_t 为土壤各粒级体积的总和。

在计算不同盖度下各层土壤颗粒的体积分形维数时,获得两边的对数值,利用 origin8.0 对其进行线性拟合,得到拟合直线的斜率 $3-D_v$,从而求得土壤颗粒的分形维数。

(2) 土壤粒度参数计算公式[22]

1) 粒径采用 Φ 标尺表示,$\Phi=-\log_2 d$,式中 d 为以 mm 计算的颗粒直径。

2) 中值粒径(d_{50}),是指对应于体积百分数为 50 的粒径。

3) 平均粒径(d_0)= $1/3(\Phi_{16}+\Phi_{50}+\Phi_{84})$,反应沙物质粒度的平均情况。

chinaXiv:201703.00049v1

ChinaXiv合作期刊

4)峰态(K_g)=($\Phi_{95}-\Phi_5$)/2.44($\Phi_{75}-\Phi_{25}$)

5)各样地土壤粒度累积频率间平均距离: $D = \sqrt{\sum (P - \bar{P})^2/(k - 1)}$

式中,p 为某一样地土壤粒度累积频率;p 为 7 个样地土壤粒度累积频率平均值;k−1 为自由度,k=7。

1.4 数据与分析

利用 excel 进行数据的初步整理,采用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析对各个样地上植物的各项指标进行差异性检验。植被特征和生物量、土壤颗粒分形维数、容重采用 one-way ANOVA 方法进行单因素方差分析,并对其进行 LSD 方法多重比较、Pearson 相关系数相关分析,最后利用 origin 8.0 进行数据作图分析。

2 结果与分析

2.1 地上植被变化特征

2.1.1 植被覆盖状况

从表 1 中可以看出,在经过 13a 的围封之后,该区域草地已经恢复至一个近原生群落类型[23],随着植被盖度的变化,样方中植被优势种从羊草、赖草变化到以克氏针茅再到克氏针茅、冷蒿为优势种的草地类型,呈现出典型草原在自然状态之下的一种演替形态。

不同盖度之下,草地地上群落生物量及枯落物变化显著(P<0.05)。随着盖度的降低,生物量、枯落物呈显著降低趋势。但 5%与 20%盖度下,生物量、枯落物无显著差异。以 40%为界限值,出现生物量、枯落物的急剧降低。经调查,植被盖度在 100%时,出现的植物种为 13 种,主要有羊草、赖草等。随着植被盖度的降低,羊草、赖草等优势建群种不再出现,具有指示草地退化的银灰旋花、冷蒿等开始出现,冷蒿在样方中所占比重逐渐增大,银灰旋花在盖度为 40%中的重要值达到最大,狼毒(*Euphorbia fischeriana* Steud.)等适口性差的植物的重要值在盖度较低的样方中比重也逐渐增大。

表 1 围封条件下草地植被状况

Table 1 The steppe vegetation condition under enclosure

盖度 Coverage/%	100	80	60	40	20	5	0
生物量 Biomass/g	682.74±18.30a	341.22±20.53b	256.05±15.36c	96.53±8.46d	45.26±8.06e	27.63±4.61e	−f
高度 High/cm	31.75±4.38a	13.52±1.83b	19.04±0.59c	11.55±1.13b	8.54±0.97d	3.71±0.44e	−f
枯落物 Litters/g	130.42±5.61a	70.00±6.65b	60.00±4.73c	10.00±0.65d	8.00±0.50d	1.00±0.48e	−e
优势种 Dominant species	羊草(*L. chinensis*),赖草(*L.secalinus*)	羊草(*L.chinensis*),克氏针茅(*S.krylovii*)	克氏针茅(*S. krylovii*)	克氏针茅(*S.krylovii*),银灰旋花(*C.ammannii*)	克氏针茅(*S. krylovii*),冷蒿(*A.frigida*)	克氏针茅(*S. krylovii*)	—

同行不同字母表示不同植被盖度下在 0.05 水平存在显著性差异

2.1.2 植被多样性的变化特征

在多年围封状态下,草地植被盖度对研究区草原植物群落多样性、均匀度及优势度有影响较大。Shannon-Wiener 指数综合了均匀度和丰富度,是表述物种多样性最好的指数。由表 2 可知,随着草地盖度的降低,植被的多样性、优势度指数及均匀度指数均呈现出现增加后降低的趋势。说明当草地盖度在 60%—40%时,物种的多样性最高,群落组成最为复杂,且稳定性最高。而植被覆盖度达到全覆盖时,其 Shannon-Wiener 指数反而较其他盖度低,说明近原始状态下植被覆盖度过高会造成群落组成单一、稳定性降低。以 40%、20%的盖度为界限值,物种多样性指数、优势度指数以及均匀度指数出现中间高、两边低的趋势。在 40%盖度及 20%盖度时,优势度指数相对更高,表明该盖度条件下优势种明显,而该盖度范围以冷蒿具有明显的优势。由此可知,由盖度 100%至 5%,去除 0%条件下,当盖度为 100%时,3 个多样性指数均为最低值,说明该区域植被覆盖并不是越大越好,植被盖度过高反而会减低群落的结构稳定性。由 40%、20%盖度可知,在这两者盖度之下,物种分布均匀,结构稳定,且多样性为指数为最高的植被覆盖度。

chinaXiv:201703.00049v1

ChinaXiv合作期刊

表 2　不同植被盖度下植被多样性指数

Table 2　Species diversity in different vegetation coverage

盖度 Coverage /%	100	80	60	40	20	5	0
多样性指数 Shannon-wiener index	0.95	2.19	1.98	2.28	2.33	1.56	—
优势度指数 Simpson index	0.76	0.88	0.83	0.88	0.90	0.76	—
均匀度指数 Evenness	0.75	0.95	0.90	0.92	0.97	0.87	—

2.2　不同盖度土壤颗粒的分形维数表现特征

从表 3 的数据上看,不同盖度下底层土壤分形维数差异不显著($P<0.05$)。因为随着盖度的增加,底层土壤颗粒的分形维数减幅并不明显,在利用 origin 8.0 对不同盖度之下的 20—30 层土壤颗粒的分形维数进行单因素方差分析,结果显示底层土壤分形维数无显著差异。即在不同盖度之下,各样地在退化围封前具有相近的生境条件,拥有相似的母质层。

植被覆盖度对表层土壤的分形维数有显著影响,随着盖度的降低,表层土壤颗粒出现粗粒化现象($P<0.05$)。利用 origin8.0 对不同盖度之下的 0—1、1—3、3—5 cm 土壤颗粒的分形维数进行单因素方差分析,结果呈显著相关,差异显著,且这 3 层之间亦有显著的差异。由于分形维数与土壤粘粒和粉粒含量呈显著正相关关系,与砂粒含量呈负相关关系。因此在盖度增加后,分形维数呈逐渐增大的趋势。说明,研究区植被盖度下分形维数缓增,土壤中细颗粒物质含量也在不断增加,土壤经历着一个逐渐细化的过程。表层无植被或是少植被时,分形维数相对较低,说明这些盖度的表层出现了粗粒化的现象。从垂直土层维度来看,100%盖度下,0—1、1—3、3—5cm 与 20—30cm 土层的分形维数无差异,80%及 60%盖度下 3—5cm 土层的分形维数与底层有显著差异,且由 0—1 cm 至 1—3 cm 呈逐渐下降趋势($P<0.05$);40%、20%及 5%盖度下的呈现出波动性变化;当无植被时,0—1、1—3、3—5 cm 之间无差异,与 20—30 cm 有差异性,且由 0—1 cm 至 3—5 cm 逐渐降低。

表 3　不同植被盖度下土壤分形维数

Table 3　Soil fractal dimension in different vegetation coverage

土层/cm	盖度 Coverage/%						
	100%	80%	60%	40%	20%	5%	0%
0—1	2.674±0.034Aa	2.714±0.037Ba	2.646±0.045ABa	2.657±0.031ABa	2.547±0.029ABb	2.505±0.037Abc	2.468±0.068Ac
1—3	2.688±0.056Aa	2.612±0.061Ba	2.679±0.066Ba	2.709±0.057Ba	2.597±0.045Ba	2.627±0.099Aa	2.462±0.082Ab
3—5	2.597±0.048Aa	2.482±0.073Aab	2.542±0.063Aab	2.575±0.074Aa	2.476±0.075Aab	2.6026±0.035Aa	2.411±0.108Ab
20—30	2.601±0.041ABab	2.673±0.054Ab	2.683±0.058Bb	2.674±0.048Bb	2.569±0.091Ba	2.590±0.049Aab	2.676±0.026Bb

小写字母表示不同植被盖度下在 0.05 水平上差异性,大写字母代表不同土层之间在 0.05 水平上差异性;在分析过程中发现,5—10cm 及 10—20cm 土层分形维数差异不显著,固在此表中并未列出及分析

2.3　表层土壤粒度参数特征

盖度与风蚀之间有一定的关联,盖度的增加能够减弱土壤颗粒的粗粒化。从水平盖度分布不同、垂直土层深度两个维度进行评判土壤表层风蚀粗化的程度。随着植被覆盖面积的降低,土壤的平均粒径 0—1、1—3、3—5 cm 呈现出不断粗化的趋势,裸沙地的平均粒径最粗,植被覆盖度大于 60%及以上的较细。0—1 cm 层颗粒粗化速率在盖度为 20%至 5%、0%的速率最大,平均为 28.5%,1—3、3—5 cm 粗化在盖度 5%时有所降低。平均粒径在垂直分布上,颗粒大致上呈现出由 0—1 cm 表层往下逐渐细化,但整体不明显。

由图 1 曲线图可知,7 个不同植被覆盖度土壤粒度累积频率之间的平均距离的最大值出现在 1 mm 处左右,说明表层整体差异在 1 mm 时较大。由图 1 的柱状图可知,样地中土壤小于 1 mm 粒度组分随着盖度的降低,呈现出逐渐下降的趋势,表层>1 mm 的粗颗粒逐渐增多,增加拟合曲线为 $Y=0.86x^2-1.5x+13.27$($R^2=0.82$)。

chinaXiv:201703.00049v1

ChinaXiv合作期刊

表 4 不同植被盖度下土壤粒度参数

Table 4 Soil particle parameters in different vegetation coverage

土层 Soil layer/cm	粒度参数 Grain size parameter	盖度 Coverage/%						
		100	80	60	40	20	5	0
0—1	d_0/mm	0.140	0.102	0.166	0.169	0.176	0.247	0.484
	K_g	1.134	1.182	0.950	0.909	0.959	1.058	1.027
	D_{50}/mm	0.117	0.084	0.124	0.157	0.247	0.337	1.040
1—3	d_0/mm	0.075	0.083	0.099	0.136	0.117	0.105	0.276
	K_g	1.264	1.251	1.229	0.933	0.799	1.052	0.810
	D_{50}/mm	0.060	0.119	0.103	0.104	0.086	0.092	0.202
3—5	d_0/mm	0.076	0.132	0.102	0.127	0.100	0.066	0.148
	K_g	1.230	1.062	1.127	0.919	1.072	1.481	0.857
	D_{50}/mm	0.060	0.119	0.103	0.104	0.086	0.092	0.202

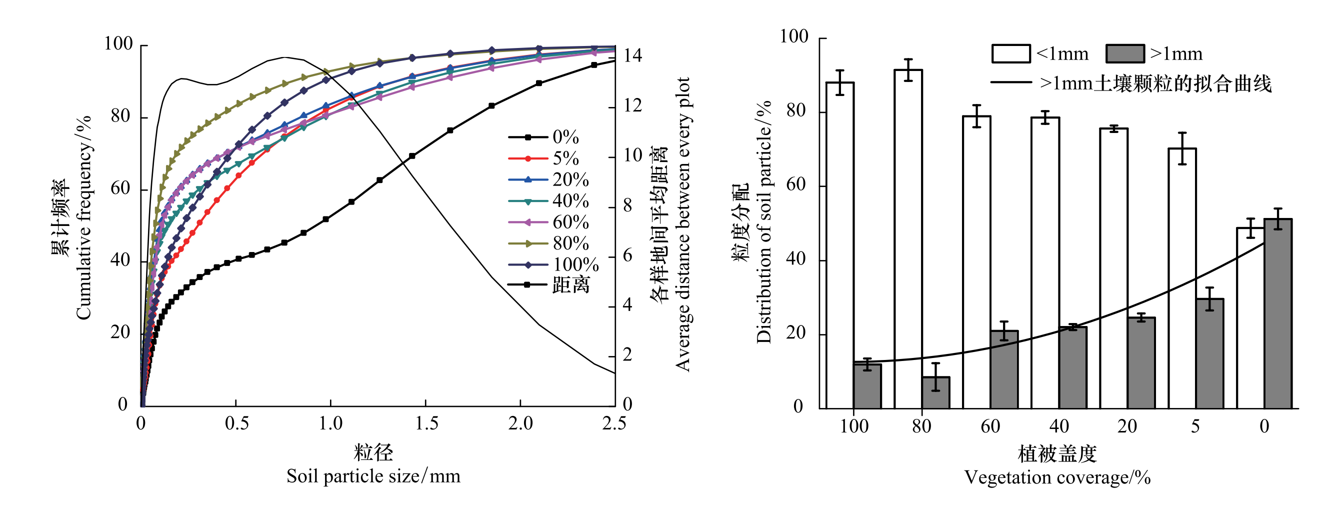


图 1 0—1cm 土壤粒度特征

Fig.1 Soil particle size characteristics in 0—1cm soil layer

由图 2 曲线图可知,7 个不同植被覆盖度土壤粒度累积频率之间的平均距离的最大值出现在 0.25 mm 处。由其柱状图可知,样地中以盖度为横坐标,土壤小于 0.25 的细颗粒呈递减趋势,大于 0.25 mm 的粗颗粒逐渐缓增。由>0.25 mm 的拟合曲线可知,R^2 = 0.87 拟合效果较好,粗颗粒增加的斜率为 3.4,增加率较高。1—3 cm 土层的粗颗粒表现为由 0—1 cm 土层的 1 mm 累积间距最大值降低到 0.25 mm。

由图 3 可知,7 个不同植被覆盖度土壤粒度累积频率之间的平均距离的最大值出现在 0.1 mm 处左右。由图 3 的柱状图可知,样地中土壤大于 0.1 mm 粒度组分随着盖度的降低,呈现出逐渐增加的趋势。比较与 0—1、1—3 cm 土层,土壤颗粒累积差异在 0.1 mm 处出现明显的差异,土层越深,整体粗粒的粒径更细。

将表层 0—5 cm 的土层细分为 0—1、1—3、3—5 cm 后,由以上数据可知,不同植被盖度下整体粒度累积频率差异分别出现在 1 mm 处、0.25 mm 处及 0.1 mm,以石砾、粗砂粒、极细沙粒为代表,说明土壤表层的粗粒化程度更加明显。以 0—1cm 土层为例,在盖度遮蔽的作用下,细颗粒物质逐渐增加;在盖度>40%时,粗颗粒的增加幅度为 5.63%。当植被盖度<40%后,粗颗粒的增加幅度达到 11.78%。因此,植被盖度对颗粒的保护作用非常大。

2.4 土壤容重与植被覆盖度之间的关系

土壤容重在一定程度上,能够表征影响土壤结构状况。对植被盖度与表层土壤容重进行相关性分析(图 4)。土壤容重与植被盖度之间呈极显著负相关(r = −0.964, P<0.001)。从图中可看出,随着草地盖度的不断增加,土壤容重逐渐降低,即草地在围封多年后,土壤的肥力、结构等逐渐的恢复趋近一个原生的状态,同时草

chinaXiv:201703.00049v1

ChinaXiv合作期刊

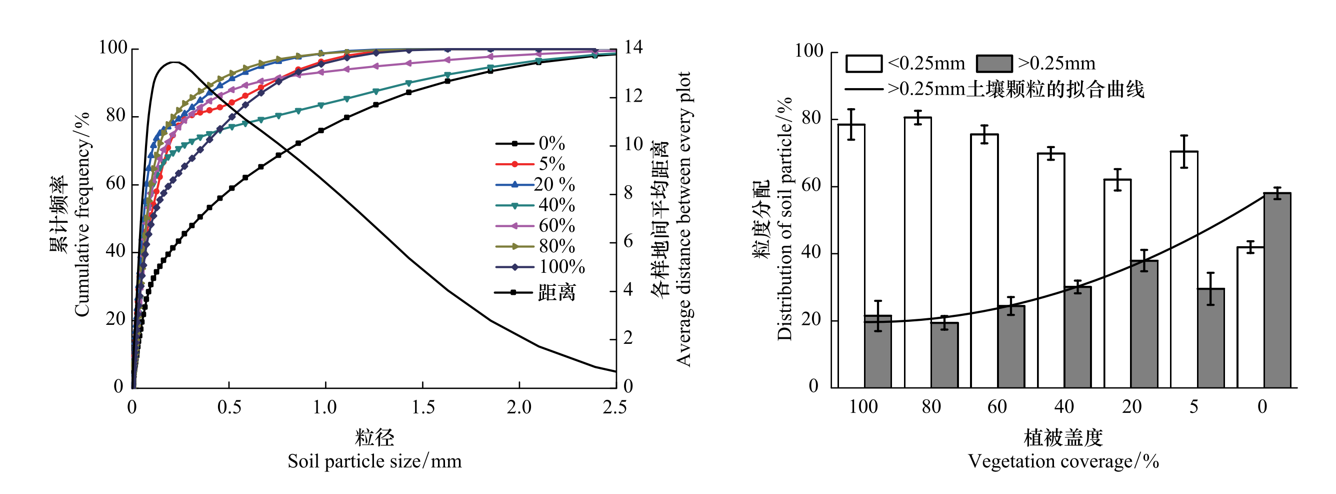


图 2 1—3cm 土壤粒度特征

Fig.2 Soil particle size characteristics in 1—3cm soil layer

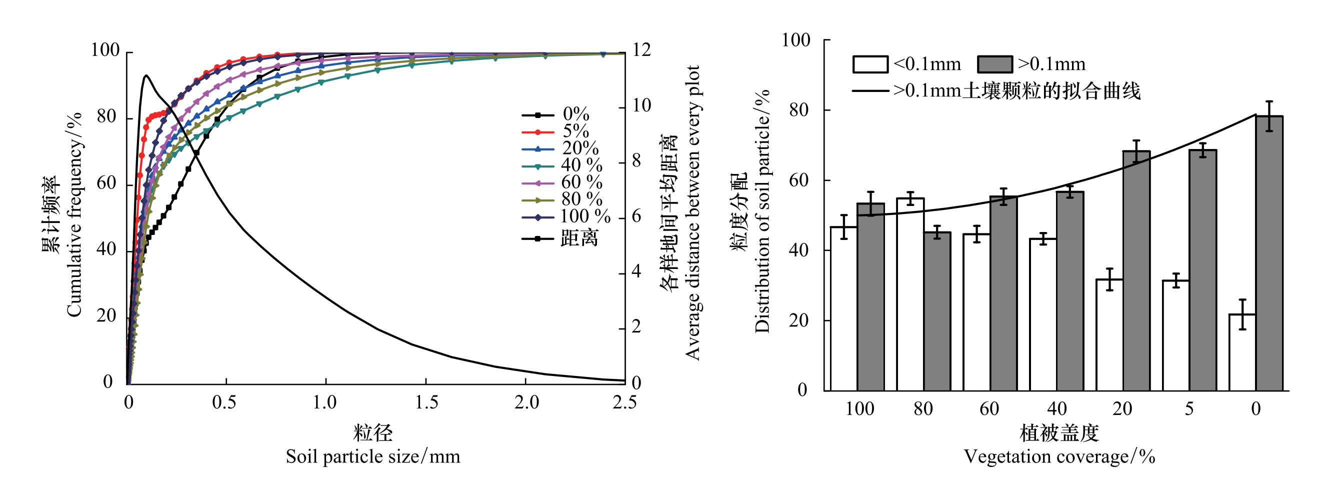


图 3 3—5cm 层土壤粒度特征

Fig.3 Soil particle size characteristics in 3—5cm soil layer

地的抗蚀能力显著增加。

3 讨论

谢贤健[24]等研究了蒋家沟泥石流频发区,在草地覆盖度不同时,由于粒径分布的差异性,其草地分形维数表现为:低盖度草地>高盖度草地>中盖度草地。在本研究中发现,随着草地盖度的降低,土壤表层分形维数随之下降,两者呈正相关关系,底层土壤 20—30 cm 分形维数无显著差异。主要原因是两地土壤类型有所差异,研究区草地土壤类型为砂质壤土。大量的研究表明,土壤颗粒分形维数能够很好的反应土壤质地,其中分形维数与中粗沙含量、细沙含量呈显著负相关,与粉粒及粘粒含量呈显著正相关,且能够重点反应粘粒的含量[25-27]。相同植被盖度对于分形维数的影响,从垂直土层维度来看,100%盖度下,0—1、1—3、3—5 cm 与 20—30 cm 土层的分形维数无差异,80%及 60%盖度下 3—5cm 土层的分形维数与底层有显著差异,且由 0—1 cm 至 1—3 cm 呈逐渐下降趋势(P<0.05),说明在长时间围封后,高覆盖植被盖度对于土壤的恢复已经达到了完善的效果,且已经完全恢复,与闫玉春等人对草地围封时间的探究一致[6]。而 40% 20%及 5%盖度下的变化差异一致,呈现波动性变化;当无植被遮蔽时,0—1、1—3、3—5 cm 之间无差异,与 20—30 cm 有差异性,并呈由土表至下层逐渐增加的趋势。在围封 10 年以上后,植被在演替过程中,土壤结构已经恢复,但是由于盖度的斑块状变化使得盖度较少的地表出现了风蚀的现象[17,28]。即相同盖度下垂直土层结构整体表现上说

chinaXiv:201703.00049v1

ChinaXiv合作期刊

明,无论盖度面积为多大,围封对于草地土壤结构的恢复都起到了良好的作用。不同植被盖度与土壤颗粒分形维数之间的关系可以从正、负两个方向来分析,首先随着盖度的降低,分形维数逐渐降低,土壤质地逐渐变粗,在自然风的作用下,土壤表层粗颗粒物质增多,地表出现自然风蚀现象,当植被盖度为自然裸地时,地表粗粒化较有植被盖度时粗粒化更严重,为负方向。其次,随着植被盖度下分形维数的缓增,土壤中细颗粒物质含量也在不断增加、粗颗粒在减少,说明土壤经历着一个逐渐细化的过程,为正方向[29]。即草原在禁牧围封的条件下,随着植被盖度的变化演替,地表粗粒化的现象明显。

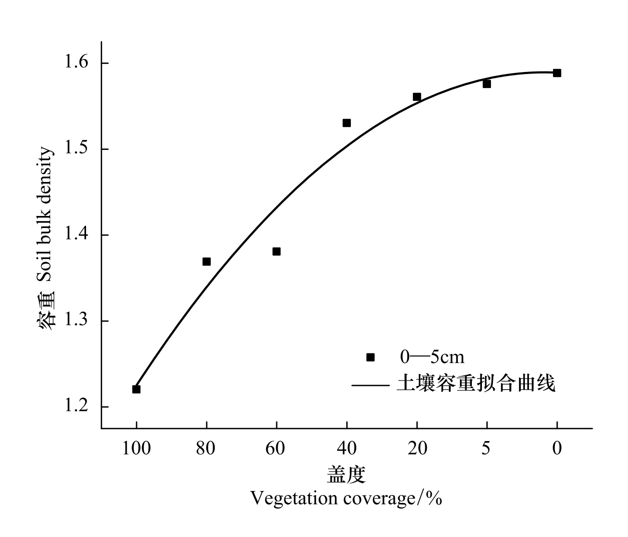


图 4 盖度与 0—5cm 土壤容重的关系

Fig.4 Relationship between vegetation coverage and 0—5cm soil bulk density

通常,在土壤粗粒化研究方面,取表层 0—10 cm 土层进行研究[11],本研究中取土方式更加精细,选择将表层 0—5 cm 的土层细分为 0—1、1—3、3—5 cm 进行取样分析。本研究中,发现在 5%盖度下其 1—3、3—5 cm 平均粒径较 20%盖度下低,可能和 5%盖度下结皮较厚有关,因为结皮以下的土壤会有细化趋势[30],但具体原因有待于进一步深究。在研究过程中发现,3 层土壤颗粒分形维数出现显著差异且与植被盖度呈显著正相关关系,其粒度累积差异分别出现在 1 mm 处、0.25 mm 处及 0.1 mm,以石砾、粗砂粒、极细沙粒为代表,从土壤垂直分层上说明土壤表层的粗粒化由 3—5、1—3 cm 至 0—1 cm 处,逐渐变得明显,且 0—1 cm 处粗粒化最严重。从水平结构上来看,随着盖度的降低,以 0—1 cm 为例,土壤颗粒粒度分配 1 mm 颗粒与盖度拟合曲线 $Y=0.86x^2-1.54x+13.3$ ($R^2=0.82$),表层土壤粗颗粒逐渐增加,在盖度>40%时,粗颗粒的增加幅度为 5.63%。当植被盖度<40%后,粗颗粒的增加幅度达到 11.78%。由此可见,围封后,植被盖度及不同土壤层次对颗粒的保护作用非常大,具有植被盖度的遮蔽保护时,表层土壤中的细粒物质得以保存和恢复,使得土壤结构逐步细化[23]。

草地围封后,恢复趋势整体好转,植被盖度高于 80%样地,优势种为羊草、克氏针茅等禾本科植物,群落较为稳定,但多样性指数低,与邵庆新等人对围封 10a 的典型草原的研究结果一致,且土壤质地较好,地表和底层土壤分形维数并无显著差异。但是,由于草地演替过程中,冷蒿、银灰旋花等退化指示种植物易聚集生长,使围封草地盖度呈现斑块化的状态[7],从而导致植被稀疏。此时,在自然风蚀的过程中,地表植被较少或无的区域,其表层的细颗粒物质易被分选出去,致使地表颗粒粗粒化,引起土体风散、结构破坏等,从而导致容重也有所增加[25]。

4 结论

希拉穆仁草原在围封 15a 后,达到一个近自然的状态,植被恢复良好,植被类型呈现为典型草原特征,以克氏针茅为优势种。围封后的草地地上植物群落发生明显的变化,随着植被盖度的递减生物量呈逐渐降低趋势,Shannon-Wiener 指数、Simpson 优势度指数均呈现出先升高后降低的趋势现象。在近自然状态下,该区域草地也会出现自然风蚀现象。围封多年的草地,地表因植被差异明显粗化,在垂直结构上表现为由 3—5、1—3 cm 土层至 0—1 cm 土层,土壤颗粒粗粒化程度加重,粗颗粒粒度累积差异分别出现在 0.1、0.25、1 mm,地表呈现出自然风蚀面貌。

参考文献(References):

[1] 单贵莲, 徐柱, 宁发, 焦燕. 围封年限对典型草原植被与土壤特征的影响. 草业学报, 2009, 18(2): 3-10.
[2] 董治宝, 陈渭南, 董光荣, 陈广庭, 李振山, 杨佐涛. 植被对风沙土风蚀作用的影响. 环境科学学报, 1996, 16(4): 437-443.

chinaXiv:201703.00049v1

ChinaXiv合作期刊

[3] 黄蓉, 王辉, 王蕙, 石小伟. 围封年限对沙质草地土壤理化性质的影响. 水土保持学报, 2014, 28(1): 183-188, 197-197.
[4] 吕世海, 冯长松, 高吉喜, 卢欣石. 呼伦贝尔沙化草地围封效应及生物多样性变化研究. 草地学报, 2008, 16(5): 442-447.
[5] 朱新萍, 贾宏涛, 蒋平安, 赵成义, 胡玉昆, 曹叶飞, 苏建红. 长期围栏封育对中天山草地植物群落特征及多样性的影响. 草业科学, 2012, 29(6): 989-992.
[6] 闫玉春, 唐海萍, 辛晓平, 王旭. 围封对草地的影响研究进展. 生态学报, 2009, 29(9): 5039-5046.
[7] 邵新庆, 王堃, 王赟文, 刘贵河. 典型草原自然恢复演替过程中植物群落动态变化. 生态学报, 2008, 28(2): 855-861.
[8] 王志强, 刘宝元, 海春兴. 土壤厚度对天然草地植被盖度和生物量的影响. 水土保持学报, 2007, 21(4): 164-167.
[9] 唐庄生, 安慧, 邓蕾, 上官周平. 荒漠草原沙漠化植物群落及土壤物理变化. 生态学报, 2016, 36(4): 991-1000.
[10] 陈玉福, 董鸣. 毛乌素沙地景观的植被与土壤特征空间格局及其相关分析. 植物生态学报, 2001, 25(3): 265-269.
[11] 闫玉春, 唐海萍, 张新时, 王旭, 王海祥. 基于土壤粒度分析的草原风蚀特征探讨. 中国沙漠, 2010, 36(6): 1263-1268.
[12] 吕圣桥, 高鹏, 耿广坡,张杰,夏江宝. 黄河三角洲滩地土壤颗粒分形特征及其与土壤有机质的关系. 水土保持学报, 2011, 25(6): 134-138.
[13] 茹豪, 张建军, 李玉婷, 杨宗儒, 冯换成. 黄土高原土壤粒径分形特征及其对土壤侵蚀的影响. 农业机械学报, 2015, 46(4): 176-182.
[14] 夏江宝, 张淑勇, 王荣荣, 赵艳云, 孙景宽, 刘京涛, 刘庆. 贝壳堤岛 3 种植被类型的土壤颗粒分形及水分生态特征. 生态学报, 2013, 33(21): 7013-7022.
[15] 柴曦, 梁存柱, 梁茂伟, 韩伟华, 李智勇, 苗百岭, 王炜, 王立新. 内蒙古草甸草原与典型草原地下生物量与生产力季节动态及其碳库潜力. 生态学报, 2014, 34(19): 5530-5540.
[16] 郑肖然, 李小雁, 李柳, 彭海英, 张思毅. 干旱半干旱区灌丛斑块与降水量响应关系的熵模型模拟. 生态学报, 2015, 35(23): 7803-7811.
[17] 胡广录, 赵文智, 王岗. 干旱荒漠区斑块状植被空间格局及其防沙效应研究进展. 生态学报, 2011, 31(24): 7609-7616.
[18] Maestre F T. On the importance of patch attributes, environmental factors and past human impacts as determinants of perennial plant species richness and diversity in Mediterranean semiarid steppes. Diversity and Distributions, 2004, 10(1): 21-29
[19] 李瑞, 张克斌, 边振, 刘晓丹, 尤万学. 半干旱地区湿地生态系统植物 α 及 β 多样性分析. 干旱区资源与环境, 2009, 23(9): 139-145.
[20] 杨金玲, 李德成, 张甘霖, 赵玉国, 赵文君, 唐先干. 土壤颗粒粒径分布质量分形维数和体积分形维数的对比. 土壤学报, 2008, 45(3): 413-419.
[21] Gui D W, Lei J Q, Zeng F J, Mu G J, Zhu J T, Wang H, Zhang Q. Characterizing variations in soil particle size distribution in oasis farmlands-A case study of the Cele Oasis. Mathematical and Computer Modelling, 2010, 51(11-12): 1306-1311.
[22] 马世威, 马玉明, 姚洪林. 沙漠学. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1998.
[23] 张华, 伏乾科, 李锋瑞, Shirato Y. 退化沙质草地自然恢复过程中土壤-植物系统的变化特征. 水土保持通报, 2003, 23(6): 1-6.
[24] 谢贤健, 韦方强. 泥石流频发区不同盖度草地土壤颗粒的分形特征. 水土保持学报, 2011, 25(4): 202-206.
[25] 文海燕, 傅华, 赵哈林. 退化沙质草地开垦和围封过程中的土壤颗粒分形特征. 应用生态学报, 2006, 17(1): 55-59.
[26] 贾晓红, 李新荣, 李元寿. 干旱沙区植被恢复过程中土壤颗粒分形特征. 地理研究, 2007, 26(3): 518-525.
[27] 苏永中, 赵哈林. 科尔沁沙地农田沙漠化演变中土壤颗粒分形特征. 生态学报, 2004, 24(1): 71-74.
[28] 海春兴, 刘宝元, 赵烨. 土壤湿度和植被盖度对土壤风蚀的影响. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1057-1058.
[29] 陈小红, 段争虎, 谭明亮, 王勇. 沙漠化逆转过程中土壤颗粒分形维数的变化特征--以宁夏盐池县为例. 干旱区研究, 2010, 27(2): 297-302.
[30] 高广磊, 丁国栋, 赵媛媛, 冯薇, 包岩峰, 刘紫葳. 生物结皮发育对毛乌素沙地土壤粒度特征的影响. 农业机械学报, 2014, 45(1): 115-120.

chinaXiv:201703.00049v1